Aus der mediziniſchen Klinik der Univerſität Bonn.
Direktor: Geh.-Rat. Prof. Dr. C. Hirſch.

Das Höhenklima und seine physiologischen Wirkungen.

Eine Einführung in die moderne höhenklimatiſche Forſchung.

Inaugural-Diſſertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

Vorgelegt von

Walter Knieriem

aus Elberfeld.

Bonn 1929.

Druck: L. Neuendorff, Bonn, Franziskanerſtraße 1a

Referent: Profeſſor Dr. C. Hirſch.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Die Anfänge klimatologiſcher Forſchung gehen bis in die Antike zurück, und zwar finden wir bei Hippokrates in ſeiner Schrift „περὶ ἀέρων, ὑδάτων καὶ τόπων“ zum erſten Male die klimatiſchen Faktoren in ihrer Bedeutung für die menſchliche Geſundheit kritiſch behandelt. Sein bedeutſamer Satz: „γὴν μετα μείβειν, ξύμφορον ἐστι μακροῖτσι νοσήμασι“ iſt zugleich der Markſtein am Anfang der klimatotherapeutiſchen Wiſſenſchaft. Tiefer als er drang ſpäter ſchon Galen in dieſe Materie ein. Dieſer iſt denn auch der erſte, der die beſondere Bedeutung des Höhenklimas erkannte, wenn er lehrte: Die hochgelegenen Orte, welche von allen Seiten durchweht ſind und für die Winde kein Hindernis bieten, ſind auch die beſſer ventilierten, und deshalb bringen die dortigen Bewohner ihr Leben faſt ganz geſund zu. Mit dem Untergang der antiken Kultur iſt auch die Entwicklung dieſer Wiſſenſchaft zunächſt völlig unterbrochen. Erſt im 17. Jahrhundert haben ſich wieder Ärzte der Erforſchung des Höhenklimas zugewandt; Paracelsus ſtudierte die Bergkrankheit und Sydenham und Morton die Therapie der Lungenſchwindſucht in höher gelegenen Orten. Die eigentlich moderne Entwicklung der Höhenklimawiſſenſchaft fällt jedoch erſt in die letzten Jahrzehnte. Beſonders verdient um die Klimatologie machten ſich vor allem Sir Hermann Weber in London und unter vielen anderen noch Zuntz, deſſen Höhenklimaexpedition im Jahre 1904 mit Loewy u. a. ſehr berühmt wurde.

Welches ſind nun unſere modernen Kenntniſſe zunächſt von der phyſikaliſch-metereologiſchen Struktur des Höhenklimas?

Unter Klima im allgemeinen verſtehen wir nach dem Metereologen v. Hann die Summe aller metereologiſchen Erſcheinungen, die den mittleren Zuſtand der Atmoſphäre an irgendeiner Stelle der Erdoberfläche kennzeichnen. Dieſe Definition iſt vom metereologiſchen Standpunkt zweifellos genügend, der ärztlichen entſpricht ſie aber nicht ganz; denn für die Heilkunde iſt die Eigen-

ſchaft eines Klimas in erſter Linie gegeben durch ſeine Beziehung zum menſchlichen Organismus. Wir müſſen alſo beſſer mit v. Humboldt in einem Klima den Ausdruck aller Veränderungen in der Atmoſphäre ſehen, die unſere Organe merklich beeinfluſſen, oder mit Rubner ſagen: „Unter Klima verſtehen wir alle durch die Lage eines Ortes bedingten Einflüſſe auf die Geſundheit".

„Damit iſt die mediziniſche Klimatologie über die rein metereologiſchen Erſcheinungen erweitert auch auf die Faktoren, die als geographiſche, geologiſche und kulturelle Einflüſſe in der Natur geſchaffen werden und auf den Menſchen einwirken, ſei es nun etwa die Anweſenheit epidemiſcher Krankheitserreger, oder ſeien es Luftverunreinigungen oder verſchiedene hygieniſche Verhältniſſe, die mittelbar das Klima eines Ortes beeinfluſſen" (v. Oordt).

Dieſe ſogenannten mittelbaren Faktoren haben jedoch für unſere Betrachtung weniger Belang, da ſie die weſentliche Sonderſtellung des Höhenklimas in keiner Weiſe berühren und außerdem für den Geſamtbegriff „Höhenklima" viel zu variabel ſind. Anders ſteht es mit den rein metereologiſchen Faktoren des Klimas, das man landläufig als Höhenklima oder richtig als Hochgebirgsklima bezeichnet. Man verſteht darunter alle binnenländiſchen Klimata mit beſonderem Hervortreten der Höhenlage und meint damit die Höhen zwiſchen 1000 und 2500 Meter. Was darüber liegt, wird als Hochlands- oder Gipfelklima bezeichnet, während man das Höhenklima nach unten gegen die Klimata mit Mittelgebirgshöhen, auch ſubalpine Klimata genannt, abgrenzt. Das Höhenklima mit ſeiner nur ihm eigenen metereologiſchen Natur findet man vor allem in den Alpen, in Europa fernerhin in ähnlicher Weiſe in den Pyrenäen und auf einigen Stationen der Vogeſen, des Schwarzwaldes, der Karpathen, der Apenninen und des Kaukaſus. Da alle genannten Hochgebirge ihre beſonderen Eigenheiten aufweiſen, ſei hier das für die Heilkunde wichtigſte und zugleich ausgeſprochenſte Höhenklima der Schweiz mit ſeinen weltberühmten Kurorten und Forſchungsinſtituten Davos und Aroſa zugrunde gelegt.

Die charakteriſtiſchſte Eigenſchaft des Hochgebirges iſt die Abnahme des Luftdruckes mit der Zunahme der Erhebung

über dem Meeresspiegel. Mit dieser Luftdruckverminderung geht eine Abnahme des Sauerstoffpartiardruckes parallel. Die Luftdruckverminderung beträgt für 1000 Meter (je 13 Meter Erhebung bedeuten eine Abnahme von 1 mm Quecksilbersäule) eine Abnahme von 12%, für 2000 Meter eine solche von 22%, sodaß wir in dieser Höhe einen Barometerstand von nur 590 mm Quecksilbersäule finden und für 1800 Meter, der Höhe von Davos, einen solchen von 607 mm. Die gleichzeitige Abnahme des Sauerstoffpartiardruckes, die in diesen Höhen noch in gleichprozentigem Verhältnis bleibt, ist nach den neueren Untersuchungen, auf die wir unten zu sprechen kommen werden, auch für Höhen von 1000 bis 2500 Meter von sehr großem Einfluß auf den menschlichen Organismus, während man früher die Ansicht vertrat, daß die absolute Abnahme des Sauerstoffs in der Luft erst in Höhen von über 3000 Meter einen merklichen Einfluß im Sinne eines Sauerstoffhungers der Gewebe ausübe.

Zwei weitere spezifische und wichtige Eigenschaften des Höhenklimas, die mit größerer Erhebung eine Steigerung erfahren, finden wir in der Abnahme einerseits der Temperatur und andererseits des Luftfeuchtigkeitsgehaltes.

Die Temperaturerniedrigung ist eine beträchtliche, sie würde noch stärker im Höhenklima zur Auswirkung kommen, wenn nicht die Sonnenstrahlung diese Kälte tagsüber ausgleichen würde. Von umso größerem Wert ist darum für einen Höhenkurort seine Lage zur Sonne und die damit verbundene Erhöhung seiner Tagestemperatur. So bekommt vor allem eine südliche Hanglage begreiflicher Weise einen besonderen Vorzug, wie sie z. B. Arosa besitzt. Die durchschnittliche Jahrestemperatur von Arosa beträgt deswegen + 6° Celsius, während sie sonst im Hochgebirge im Durchschnitt nur 3—4° mißt.

Daß auch die Luftfeuchtigkeit im Hochgebirge vermindert ist, ist erst eine Erkenntnis der letzten Jahrzehnte, sie ist sogar über Erwarten groß. Nach Dorno beträgt sie in 2000 Meter Höhe nur halb so viel wie am Meere. Diese Eigenschaft des Hochgebirges wurde wohl deswegen früher nicht erkannt, weil die relative Feuchtigkeit der Höhenluft abnorm groß ist. Das

läßt ſich ſehr leicht erklären, wenn man bedenkt, daß die Luft des Hochgebirges wegen ihrer niedrigen Temperatur nur ſehr wenig Waſſerdampf aufnehmen kann. Da man unter relativer Feuchtigkeit aber das Verhältnis des gegebenen Flüſſigkeitsgehaltes der Luft zu ihrem geſamten Faſſungsvermögen bei der gegebenen Temperatur verſteht, kann dieſe ſehr groß ſein, obwohl der abſolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft enorm niedrig iſt. Dieſe iſt ſogar ſo ſtark vermindert, daß für die menſchliche Haut, auf der die kalte, waſſerarme Luft nun noch auf 33—35° erwärmt werden muß, „Trockenverhältniſſe entſtehen, die denen des heißen Sirocco gleichkommen" (Dorno). Nach Göß ergibt ſich ſo für Aroſa ein Abtrocknungswert, auf deſſen Ableitung hier nicht eingegangen werden kann, von 0,31 im Sommer und 0,81 im Winter, während Berlin im Sommer 0,18 und im Winter 0,30 als Abtrocknungswerte aufweiſt.

In enger Beziehung zu der Lufttrockenheit ſtehen die elektriſchen Verhältniſſe der Luft. Im Höhenklima finden wir nach Wigand weſentlich andere Verhältniſſe als im Südland und zwar ſowohl ein kleineres Spannungsgefälle, wie umgekehrt eine größere Ioniſierung der Luft. Die Abnahme des Potentialgefälles im Hochgebirge wird auf eine beſſere Leitfähigkeit der Luft zurückgeführt. Dieſe wieder erklärt man durch den geringen Feuchtigkeitsgehalt bei ſtärkerer Ioniſierung, wobei ſicher die Verdünnung des Luftmantels nicht unweſentlich iſt. Die ſtärkere Ioniſierung aber glaubt man durch die Wirkung der ultravioletten Strahlen bedingt. Dieſen kommt ja, wie wir ſpäter noch ſehen werden, eine ioniſierende Wirkung tatſächlich zu, und ihr beſonderer Reichtum in der Strahlung des Höhenklimas läßt dieſe Annahme ſehr wahrſcheinlich erſcheinen. Mit dem größeren Gehalt an Ionen geht eine ſtärkere Beweglichkeit der Ionen parallel. Sie wird durch die Luftdruckverminderung ſowie durch die Staubfreiheit der Hochgebirgsluft beſtimmt und trägt dazu bei, daß die Leitfähigkeit der Luft ſo groß iſt. Während nun das Potentialgefälle nach Meſſungen in Davos und Potsdam im Hochgebirge nur den dritten Teil von den Werten des Tieflandes ausmacht, iſt es bei der Leitfähigkeit der Höhenluft gerade um-

gekehrt. „Der von der Erde zur Luft dauernd übergehende luftelektrische Vertikalstrom ist also in Davos etwa von derselben Größe wie in Potsdam, aber nur ein Drittel so hoch gespannt" (Dorno).

Die Hochgebirgsluft zeigt außerdem einen recht beträchtlichen Gehalt an radioaktiver Emanation. Im allgemeinen ist der radioaktive Emanationsgehalt der Bodenluft viel größer als der der atmosphärischen Luft. Er zeigt aber nach Dorno eine beträchtliche Vermehrung, je mehr man in die Höhe kommt. So konnte festgestellt werden, daß die Bodenluft in Davos etwa 18 mal emanationsreicher war als in München und sogar etwa 100 mal stärker als in Potsdam. Dorno glaubt daß die Bodenluft im Hochgebirge etwa 5000 Ionen pro ccm/sek. erzeugen könne, das sei in „pflanzenphysiologischer Hinsicht eine sicher nicht, in klimatischer Hinsicht vielleicht nicht zu vernachlässigende Größe".

Wir haben schon darauf hingewiesen, daß die gute Leitfähigkeit der Höhenluft mitbedingt wird durch ihre besondere Staubfreiheit. Es ist des öfteren nachgewiesen, daß ein geringerer Gehalt an Staubteilchen im Hochgebirge tatsächlich vorliegt. Die Zählung der Staubpartikelchen beansprucht in neuester Zeit besonderes Interesse. Im Innern der Großstädte z. B. von England wurden nicht weniger als 100000 bis zu mehreren Millionen Staubteilchen gezählt. Nach Wigand nehmen die Staubteilchen bei der Dunstbildung als Dunstkerne eine wesentliche Rolle ein. An diese Kerne lagern sich die Wasserstoffmoleküle an und zwar schon, ehe 100% Sättigung der Luft erreicht ist. Diese Elementartröpfchen trüben dann, bevor sie überhaupt sichtbar werden, die Atmosphäre in der Weise, daß sie die direkten Sonnenstrahlen schwächen und die diffusen, auch Himmelsstrahlen genannt, vermehren. Auf diese Art kommt durch die Anwesenheit von vielen Staubpartikeln und der sich aus ihnen bildenden Dunstkerne eine Trübung zustande, die für die Strahlung von außerordentlich großem Einfluß, ja Nachteil ist. Linke hat die Atmosphärentrübung berechnet und einen Trübungsfaktor aufgestellt, der es ermöglicht, jede Atmosphäre mit der sogenannten idealen, d. h. ungetrübten Atmosphäre zu vergleichen. Seine Mes-

sungen ergeben folgende interessante Feststellungen: Die Größe des Trübungsfaktors beträgt in Potsdam im Jahresdurchschnitt 2,05, für Frankfurt a. M. 3,48, während er für Davos nur 1,85 und für Arosa noch weniger, sogar 1,57 beträgt. Die Trübung in Potsdam ist demnach gegenüber Arosa um 30%, in Frankfurt sogar um 112% gesteigert. Dadurch gewinnt das Höhenklima außerordentlich an direkter Strahlung. Diese Messungen stimmen überein mit der Feststellung Wigands, daß mit der Höhe auch die Dunstkerne abnehmen und schließlich ganz verschwinden.

Die Reinheit der Höhenluft bezieht sich jedoch nicht nur auf ihren Staubgehalt, auch in Bezug auf den Keimgehalt ist sie der des Tieflandes weit überlegen. Es fanden sich nach Aitken und Miquel im Cubikm. Luft 300 Keime im Durchschnitt, während auf den Gipfeln der Alpen fast eine absolute Keimfreiheit besteht. Auf dem Mont Blank wurden zwischen 4 und 11 Keimen pro Kubikmeter Luft gezählt.

Auch das Fehlen der durch die Mitteilungen Storm van Leeuwens bekannt gewordenen Klimaallergene im Hochgebirge kann hier Erwähnung finden. Storm van Leeuwen gelang es, diese Stoffe, die bei idiosynkratisch disponierten Individuen anaphylaktische Zustände hervorrufen, in der holländischen Luft nachzuweisen, und ihr absolutes Fehlen in der Schweizer Höhenluft an Patienten zu demonstrieren. Asthmaanfälle wurden nämlich mit Erhebung über den Meeresspiegel immer seltener und konnten in Bern überhaupt nicht mehr, außer mit mitgebrachter holländischer Luft ausgelöst werden. Durch diese Tatsachen wird aufs deutlichste die besondere Reinheit der Höhenluft erwiesen und zugleich erklärt.

Es wäre nun noch ein kurzer Blick auf die gasförmige Zusammensetzung der Höhenluft zu werfen. Für die Medizin ergibt sich da allerdings nichts Besonderes. Die prozentuale Verschiebung zwischen Sauerstoff- und Stickstoffgehalt tritt erst in höheren Gebieten auf. Auch der etwas prozentual veränderten Beimengung der Luft an Edelgasen, der man vorübergehend besondere Aufmerksamkeit schenkte, kommt eine klimatologische Bedeutung nicht zu. Eher dürfte noch der etwas veränderte Ge-

halt an Kohlenſäure und Ozon von Bedeutung ſein. Beiden ſchreibt man eine abſorbierende Wirkung auf die Wärmeſtrahlen zu, in der Art, daß nur die von der Erde reflektierten Wärmeſtrahlen von ihnen feſtgehalten werden und damit eine zu große Abkühlung vermieden würde. Da jedoch keine einwandfreien Vergleichsmeſſungen vorliegen, kann genaues nicht geſagt werden. Vom Ozon, das im Hochgebirge wohl vermehrt in der Atmoſphäre vorhanden iſt, nahm man eine desinfizierende Wirkung an, ſie iſt aber ſicherlich nicht ſo bedeutend, daß ſie damit das Klima des Hochgebirges entfernt beeinfluſſen könnte.

Nach dieſen für das Höhenklima zum Teil weniger wichtigen Faktoren haben wir noch den heute im Mittelpunkt der Klimatologie ſtehenden Faktorenkomplex zu beſprechen: nämlich die Strahlung. Sie bedeutet ohne Frage eines der Hauptcharakteriſtica des Hochgebirgsklimas, ſodaß man gradezu vom Strahlungsklima zu reden ſich gewöhnt hat. Darunter verſteht man alſo alle Beſonderheiten eines Klimas, die mit der Sonnenſtrahlung zuſammenhängen. Am ſinnfälligſten erſcheint zunächſt die Bedeutung der Sonnenſcheindauer. Sie zeigt im Hochgebirge eine beträchtlich höhere Jahresſtundenzahl als im Tiefland. Nach Göß beträgt ſie für Aroſa im Mittel 1827 Stunden und ungefähr ebenſoviel für Davos, weit mehr zählt noch Lugano mit 2276 Stunden, während Karlsruhe, eine übrigens noch gut beſchienene Stadt des Tieflandes, nur 1633 Stunden Sonnenſchein im Jahre aufzuweiſen hat. Dieſe abſolute Vermehrung der Sonnenſcheindauer wird beträchtlich in ihrem Wert erhöht, dadurch, daß die Zeiten des Sonnenſcheins im Hochgebirge faſt ausſchließlich in die Mittagsſtunden fallen und vor allem im Winter die klare Atmoſphäre gerade um die Mittagszeit die intenſivſte Strahlung hervorlockt. Dadurch haben die Sanatorien im Hochgebirge einen unſchätzbaren Vorteil gegenüber denen des Mittelgebirges und des Tieflandes.

Bedeutſamer als die quantitative Zunahme der Strahlung im Hochgebirge iſt jedoch ohne Zweifel ihre qualitative Veränderung. Sie bezieht ſich erſtens auf die Intenſität der Strahlung und zweitens auf ihren größeren Anteil an den chemiſch-

hochaktiniſch wirkſamen ultravioletten Strahlen. Es iſt bekannt, daß alle Strahlen, nicht nur die ultraroten, auf den ſie abſorbierenden Körper eine Wärmewirkung ausüben. Dieſe meßbare Wärmewirkung dient nun dazu, uns Aufſchluß über die Intenſität der Sonnenſtrahlen zu geben. Die Wärmewirkung wird durch den Einfallwinkel der Strahlen, d. h. alſo durch die Höhe des Sonnenſtandes einerſeits und andererſeits durch die Trübung der Atmosphäre maßgebend beeinflußt. Die Atmosphärentrübung nimmt aber, wie wir ſchon ſahen, mit der Erhebung beträchtlich ab. So iſt es erklärlich, daß die mittlere Strahlungsintenſität auf den Bergen weſentlich höher iſt als in der Ebene und der Unterſchied um ſo größer iſt, je niedriger die Sonne ſteht, weil dann die Atmosphäre für die Durchquerung der Sonnenſtrahlen einen längeren Weg bietet. Nach van Oordt ergibt ſich ein Unterſchied von 25% zu Gunſten des Hochgebirges bei einer Höhe von 2500 Meter gegenüber einer Höhe von 300 Meter. Die Unterſchiede der maximalen Werte der Strahlungsintenſität zwiſchen dem Tiefland und der Höhe ſind eigentlich nicht groß. Für Potsdam beträgt ſie 1,44 gr. große Kalorien gegen 1,58 gr. für Davos. Das liegt wohl auch daran, daß die indirekte Strahlung oder Himmelsſtrahlung den Verluſt an direkter Sonnenſtrahlung weitgehend ausgleicht. Doch ſtellen ſich trotzdem die geſamten Strahlungsſummen für Davos um 50% beſſer als für Potsdam (Dorno). Außer der intenſiveren Strahlung hat das Hochgebirge vor der Ebene noch den Vorzug der günſtigeren Verteilung der Strahlung über das Jahr. So weiſt die Wärmemenge der Wintermonate in Davos den dreifachen Wert von Potsdam auf, während ſie in den Sommermonaten nur wenig höher liegt. Das Strahlungsklima des Hochgebirges iſt folglich weit gleichmäßiger. Allerdings ſind dafür um ſo greller die Temperaturunterſchiede, wenn man während des Winters in den Alpen aus der Sonne in den Schatten tritt.

Der entſcheidende qualitative Unterſchied des Strahlungsklimas des Hochgebirges von dem der Ebene liegt aber zweifellos in ſeinem Reichtum an den kurzwelligen ſogenannten ultravioletten Strahlen. Bekanntlich enthält das Sonnenſpektrum außer den

für uns ſichtbaren Strahlen, die im Bereich der Wellenlänge von 0,4 Mikren im Violetten bis 0,75 im Dunkelroten liegen, außerdem noch Strahlen, welche als Wärmeſtrahlen oder ultrarote Strahlen bekannt ſind (bis zu einer Wellenlänge von ungefähr 2,2 Mikren) und ferner die ultravioletten Strahlen, die den Bereich der Wellenlänge von 0,4 Mikren bis zur Wellenlänge von 0,291 umfaſſen. Von dieſen unſichtbaren Strahlen ſind die letzteren ausnahmslos chemiſch und hochaktiniſch wirkſame Strahlen. Andere Strahlen als dieſe ſind im Sonnenſpektrum nirgends nachgewieſen worden, vielmehr iſt die Breite des Sonnenſpektrums in allen Gegenden und Höhen ein und dieſelbe. Während wir von der Quarz- und Queckſilberdampflampe noch weſentlich kürzere Ultraviolettſtrahlen kennen, konnten ſolche im Sonnenſpektrum nie nachgewieſen werden. Wichtig iſt aber, daß auch für die Ultraviolettſtrahlung des Sonnenſpektrums ein ähnliches Intenſitätsmaximum beſteht, wie wir ſie im Lichtſpektrum als Helligkeitsmaximum im Gelb finden. Haußer und Vahle konnten als erſte nachweiſen, daß das Intenſitätsmaximum der ultravioletten Sonnenſtrahlen in der Gegend der Wellenlänge 0,297 Mikren liegt. Ferner wiſſen wir, daß die ultravioletten Strahlen, die über 320 liegen, biologiſch ohne Bedeutung ſind. Von der klimatologiſchen Wirkung der ultravioletten Strahlen iſt bekannt, hauptſächlich durch Benard und Ramſauer, daß die ultravioletten Strahlen in der Atmoſphäre Ionen erzeugen und dieſe leitend machen, zweitens ozonbildend wirken und drittens Nebel erzeugen. Durch dieſe reaktive Wirkung auf die Atmoſphäre kommt den ultravioletten Strahlen eine nicht unbedeutende klimatologiſche Rolle zu. „Auf Zeiten erhöhter Strahlung folgt die plötzliche Auslöſung eines Gewitters mit Wolkenbildung".

Für das Hochgebirge ergibt ſich ähnlich der allgemeinen Zuname der Strahlungsdauer und Intenſität ein erhöhter Reichtum an ultravioletter Strahlung. Dieſes Mehr iſt ſowohl ein quantitatives wie qualitatives. Der Unterſchied in der ultravioletten Strahlungsſtärke iſt im allgemeinen im Winter maximal und wird in dem Maße geringer, als man ſich der warmen Jahreszeit nähert. Dabei iſt aber die Intenſitätsabnahme der ultravioletten

Strahlung während des Winters auch im Hochgebirge eine beträchtliche, wenn sie auch gegenüber der Tiefe geringer ist. Nach Dorno beträgt die Gesamt-Ultraviolettstrahlung im Winter mindestens dreimal soviel, nach anderer Messung sogar viermal soviel wie Tieflandswerte. Im Sommer ließ sich für Davos und Neubrandenburg ein Verhältnis von 1,2 : 1 berechnen, was wohl für die Höhenlage ein Minimum darstellt. Endgültige zahlenmäßige Vergleiche lassen sich vorläufig wegen mangelnden Zahlenmaterials noch nicht anstellen, denn bisher ist die Ultraviolettstrahlung mit einheitlichen Maßen und Mitteln nicht gemessen. Es ist aber anzunehmen, daß in kürzester Zeit allgemein die sogenannte Cadmiumzelle, die bereits im Davoser Forschungsinstitut aufgestellt ist, auch anderswo zu Messungen verwendet wird, sodaß sich sehr wichtige Vergleichszahlen ergeben. Wir begnügen uns hier mit der Tatsache, daß die Ultraviolettstrahlung im Hochgebirge im allgemeinen vermehrt ist, vor allem aber im Winter die der Ebene um ein Vielfaches übertrifft.

Wenn wir rückblickend die verschiedenen besprochenen Eigenschaften des Höhenklimas in ihrer Bedeutung zu bewerten versuchen, so müssen wir als die wesentlichsten Eigenschaften dieses Klimas zusammenfassen:

1. Die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhenlage und damit verbunden die Verringerung des Sauerstoffpartiardruckes.
2. Die Verringerung der Lufttemperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes mit starker Austrocknung um die Mittagszeit und im Winter.
3. Die Staub- und Keimfreiheit der Höhenluft.
4. Eine stärkere elektrische Ladung und größere Radioaktivität.
5. Ein in jeder Beziehung und jeder Jahreszeit reicheres Strahlungsklima mit besonderer Beteiligung der ultravioletten Strahlen.

Fragen wir nun nach den Wirkungen dieses so charakterisierten Höhenklimas auf den menschlichen Organismus, so kann am besten Aufschluß geben ein mehr oder weniger langer Aufenthalt

in diesem Klima selbst. Dabei wird nämlich klar, daß die Wirkung dieses Klimas zunächst keine deutlich wahrnehmbare ist, sondern es vielmehr auf die menschliche Psyche einzuwirken scheint. Das ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die beschriebenen Eigenschaften des Höhenklimas ja nur Steigerungen oder Verminderungen von klimatischen Zuständen bedeuten, die überall gefunden werden. Die Wirkungen, die vom Höhenklima ausgehen, sind offenbar zum Teil unspezifisch, d. h. sie können unter gewissen Voraussetzungen auch anderswo sich finden oder vorübergehend in verändertem Maße auftreten. Selbst die Faktoren, die wir als dem Höhenklima eigentümlich ansehen müssen, wie Sauerstoffverminderung und Strahlenreichtum und vielleicht auch die veränderte Luftelektrizität, sind nicht so bedeutend, daß sie eine völlige Umstimmung des menschlichen Organismus z. B. bei den dortigen Einwohnern bewirkten, abgesehen davon, daß bei den Höhenklimabewohnern die Gesamtmenge der roten Blutkörperchen, des Blutfarbstoffes und des Blutes höher liegt als bei Tiefländern, wie Lippmann nachwies.

Trotzdem sind wir aber von der bedeutsamen Einwirkung des Höhenklimas überzeugt, denken wir nur an die erfolgreiche Beeinflussung der Tuberkulose. Man muß also annehmen, daß für die Wirkung des Höhenklimas weniger ein einzelner Faktor in Betracht kommt, als vielmehr die Gesamtheit der Faktoren. Ja, wir dürfen in dem günstigen Zusammentreffen der verschiedenen bedeutsamen Faktoren wie Sonnenstrahlung, Trockenheit, Sauerstoffverminderung und schwache Winde bei niedriger Temperatur die Wirkung seiner wesentlichen Besonderheit sehen. Am stärksten tritt diese Eigenart beim Klimawechsel zutage, d. h. also beim Übergang vom Tiefland zur Höhe und äußert sich dann in einer Steigerung der Lebensfunktionen. Mit der Zeit tritt dann eine Gewöhnung an die veränderten Klimabedingungen ein. Die Klimawirkung büßt also langsam an Kraft ein und verliert, wenn wir sie als Reiz auf mannigfache Funktionen des Organismus auffassen, offenbar auf die Dauer den Charakter ihres Reizes. Damit wäre allerdings die geheimnisvolle Besonderheit, die man dem Hochgebirge im Volksglauben zuschreibt, dem wis-

ſenſchaftlichen Begriff „Höhenklima“ genommen. Das Höhenklima würde völlig in die Reihen der andern Klimata zurücktreten müſſen, da es wohl in der Therapie, nicht aber in der klimatologiſchen Wiſſenſchaft eine Sonderſtellung einnähme, wenn nicht zwei Faktoren doch eine beſondere ſpezifiſche Wirkung zuerkannt werden müßte, die über den Rahmen einer vorübergenden Reizwirkung hinausgeht.

Dieſe beiden Faktoren ſind die Sauerſtoffverminderung und der Reichtum an ultravioletter Beſtrahlung.

„Daß das Leben unter vermindertem Luftdruck von einem gewiſſen, individuell übrigens wechſelnden Grade ab eine große Reihe unſerer körperlichen Funktionen zu ändern und ſchließlich zu krankhaften Erſcheinungen führen kann, iſt lange bekannt“. (Loewy) Das deutlichſte Beiſpiel iſt die in großen Höhen über 3000 Meter vorkommende Bergkrankheit (auch Höhenflüge zeigen das gleiche); ſie iſt charakteriſiert durch große Mattigkeit, Schwindelanfälle, Schläfrigkeit, Zunahme der Pulsfrequenz mit Asphyxie und Cheyne-Stokes'ſchem Atmen. In beſonderen gefährlichen Fällen kommt es zu völligem Stupor, petechialen Blutungen in den feinen Kapillargebieten und unter Umſtänden ad exitum. Das Bild gleicht einer ſchweren Vergiftung, man hat es auch lange Zeit, vor allem im Volk, für eine ſolche gehalten. Daß es ſich hier aber um eine Folge des Sauerſtoffmangels handelt, hat als erſter Paul Bert erkannt, der bei der Unterſuchung des Blutes eines 3700 Meter hoch wohnenden Franzoſen ein ungewöhnlich hohes Abſorptionsvermögen für Sauerſtoff fand. Dieſe Tatſache lenkte die allgemeine Aufmerkſamkeit auf die Vorgänge im Blut bei vermindertem Luftdruck. Experimente zeigten zunächſt im Gegenſatz zu der Bert'ſchen Feſtſtellung, daß nämlich jede Sauerſtoffabnahme der Außenluft zu einer geringeren Bindung des Sauerſtoffs an das Haemoglobin in Form des Oxyhaemoglobins führe, daß dieſes ſo ohne weiteres garnicht der Fall iſt. Vielmehr kann infolge der Sauerſtoffbindung an das Haemoglobin der Sauerſtoffdruck in der eingeatmeten Luft in weiten Grenzen ſchwanken, ohne daß Erſcheinungen des Sauerſtoffmangels eintreten (Regnard). Pinkuſſen hat dieſe Tatſache in hervorragender Weiſe

in ſeiner Arbeit über die Bergkrankheit dargelegt. Nach ſeinen Berechnungen iſt ſelbſt bei halbem Atmosphärendruck die Sättigung des Haemoglobins an Sauerſtoff immer noch 92%, erſt darunter fällt die Bindungsfähigkeit des Haemoglobins ab, ſodaß es nach der Geſamtberechnung der gebundenen Sauerſtoffmenge (1 Molekül Haemoglobin bindet genau 1 Molekül Sauerſtoff) noch ſelbſt bei halbem Atmoſphärendruck einen weitaus genügenden Sauerſtoffgehalt des Blutes beſitzen dürfte. So konnte die ſtarke Bindungsfähigkeit des Blutes im Hochgebirge, die nach Bert auch ſonſt nachgewieſen wurde, vorübergehend nicht erklärt werden. Ihre ſichere Erklärung fand ſie endlich durch die Feſtſtellung eines anderen franzöſiſchen Forſchers namens Viault, der nachwies, daß die Zahl der roten Blutkörperchen im Hochgebirge vermehrt ſei. Erhärtet wurde ſie durch den Nachweis des Baſeler Phyſiologen Mieſcher, daß nämlich die Blutvermehrung ſich auf das Haemoglobin erweitere. Die Frage, ob dieſe Vermehrung nur eine lokale und relative ſei, war längere Zeit ein Gegenſtand heftiger Diskuſion. Sie wurde in erſter Linie wohl von Loewy, Zuntz und Bürker als eine abſolute ſichergeſtellt. Neuerdings hat Bürker in Kontrollunterſuchungen eine Zunahme von maximal von 11,5% Haemoglobin und 8—10,7% Erythrocyten als abſolute Steigerung nachgewieſen. Wenn durch dieſe Unterſuchungen nun auch die urſprüngliche Bert'ſche Feſtſtellung erklärt wurde, ſo warfen ſie doch zugleich auch ganz neue und für die Höhenklimawirkung entſcheidende Fragen auf. Als erſtes ergab ſich, daß die Blutvermehrung im Sinne einer Vermehrung ſowohl der Zellenzahl wie auch des Haemoglobins und der Geſamtblutmenge garnicht nur auf die Höhen beſchränkt iſt, in denen die Bergkrankheit auftritt, ſondern ſchon bei geringeren Höhen zu finden iſt und im weiteſten Maße für das eigentliche Höhenklima gilt. Dort alſo, wo man theoretiſch noch viel weniger phyſiologiſchen Sauerſtoffmangel vermutete, finden wir eine Reaktion auf dieſen im Blut, eine merkwürdige Tatſache, die ſich zunächſt nicht erklären ließ. Dadurch wurden verſchiedene Forſcher veranlaßt, andere Klimafaktoren zur Erklärung dieſer vermehrten Blutbildung heranzuziehen. Vor allem Keſtner vertritt die Anſicht, daß

die ultravioletten Strahlen, von deren Reizwirkung auf die Blutbildung wir noch zu sprechen haben, von der Haut aus, reflektorisch oder hornomal, die Veränderung des Blutes bewirken. Doch die Untersuchungen von Koranyi, Zuntz und Loewy müssen uns erneut auf den Sauerstoffmangel zurückführen. Koranyi zeigte nämlich, daß Polycythämien durch Sauerstoffmangel leicht auslösbar sind. Bei künstlicher Beeinträchtigung der Atmung, bei einer weitgehenden Entarterialisierung des Blutes oder bei Abnahme der Zirkulationsgeschwindigkeit trat in Tierexperimenten eine Steigerung der Erythrocytenzahl auf, die bei Sauerstoffatmung sofort wieder zurückging. Diesen Einfluß von künstlicher Sauerstoffatmung hat Loewy weitgehendst in Davos und anderen Höhenorten an Menschen erprobt und bestätigt gefunden, und zugleich den Gegenbeweis für die Tiefebene erbracht wo nämlich eine derartige Wirkung von Sauerstoffzufuhr im Sinne einer Verminderung der Erythrocytenzahl und des Haemoglobingehaltes nicht nachweisbar war. Vor allem spricht neuerdings gegen die Ansicht Kestners die Tatsache, daß durch die Ultraviolettbestrahlung keine direkte Blutvermehrung erzeugt werden konnte; auch zeigte Loewy an Untersuchungen bei Tiefländern, daß diese schon in Davos, also bei 630 mm Quecksilbersäule, mehrfache Zeichen von Sauerstoffmangel aufweisen und von allen derartigen Zeichen bei Zuführung von Sauerstoff befreit werden. Nach seiner Ansicht sind deswegen die in Davos zu beachtenden Höhenklimaerscheinungen im Blute lediglich durch die Sauerstoffabnahme hervorgerufen, da sie durch Sauerstoffzufuhr jederzeit rückgängig gemacht werden können.

So müssen wir mit Loewy annehmen, daß schon in diesen Höhen Sauerstoffmangel sich im Organismus bemerkbar macht, obwohl das arterielle Blut nur wenig an Sauerstoff ärmer geworden ist und jedenfalls doch so reichlich Sauerstoff führt, daß seine Menge zur Bestreitung des Sauerstoffbedarfs zum mindesten des ruhenden Körpes ausreichen müßte. Daraus wäre zu schließen, daß eben nicht die Menge des Sauerstoffs im Blute in erster Linie für die Sauerstoffversorgung der Organe maßgebend ist, vielmehr, daß die Sauerstoffspannung im Blutplasma in diesem

Punkte eine entſcheidende Rolle ſpielt. Und dieſe iſt tatſächlich wie nachgewieſen werden konnte, im Höhenklima herabgeſetzt. Da die Sauerſtoffſpannung des Blutes auf die lebenswichtigen Organe, ſpeziell die nervöſen Zentren für die Atmung, die Herztätigkeit, die Vaſomotoren und das Knochenmark einwirkt, genügt offenbar nur eine geringe Herabſetzung, um die Sauerſtoffzufuhr zu dieſen ungenügend zu machen. Dieſe antworten dann auf den Reiz der Verminderung der Sauerſtoffſpannung reaktiv mit Zellenvermehrung, Beſchleunigung der Atmung und des Kreislaufes.

Bevor wir auf dieſe Frage näher eingehen, ſei kurz auf die Veränderung der beiden letzteren, Atmung und Kreislauf im Höhenklima eingegangen. Es findet ſich im Höhenklima ganz entſprechend dem oben ausgeſprochenen Gedanken eine deutliche Steigerung der Atmungs- und Pulsfrequenz und vielfach auch eine Blutdruckerhöhung. Nach Loewy ſoll ſogar eine Steigerung des Blutdrucks beim Übergang in die Höhe in ſehr beträchtlichem Maße gefunden worden ſein. Keſtner allerdings will keine Blutdrucksteigerung beobachtet haben, doch hat Loewy in ſeinen Fällen bei Sauerſtoffzufuhr ein Sinken auf Tieflandswerte prompt erreicht.

Deutliche Veränderungen zeigt der kleine Kreislauf. Die Bergkrankheit ruft ſie in extremer Weiſe hervor: Stauung und Hyperämie der Lungen, flachere und frequentere Atmung bis zum Auftreten des Cheyne-Stoke'ſchen Atemsymptoms. Bei geſunden Individuen und in geringerer Höhe zeigen ſich ähnliche Veränderungen der Atmung und des kleinen Kreislaufes. Daß eine Mehrbeanſpruchung des kleinen Kreislaufes ohne Zweifel anzunehmen iſt, dafür ſprechen die Meſſungen Loewys, die eine deutliche Vergrößerung und Dilatation des rechten Ventrikels in mehreren Fällen ergaben. Den Grund für die Mehrbeanſpruchung des Herzens glaubt man mechaniſch in der größeren Entfaltung der Lungen zu finden, da in der Höhe eine Zunahme der Vitalkapazität beobachtet werden kann. Koranyi und Loewy aber ſehen den urſächlichen Zuſammenhang zur Mehrarbeit des rechten Ventrikels in der Tatſache, daß die Viscoſität des Blutes im Hochgebirge erhöht iſt. Unter normalphyſiologiſchen Bedingun-

gen hat ſchon die rechte Kammer eine größere innere Reibung des Blutes zu überwinden, ſie wird bekanntlich durch die Kohlenſäureanreicherung geſteigert und durch die Arterialiſierung vermindert. Die im Höhenklima wenn auch in geringem Maße verminderte Arterialiſierung ſowie die Zellvermehrung des Blutes dort wird von Koranyi zur Erklärung der Erhöhung ſeiner Viscoſität herangezogen. Die Zunahme wird von Stäubli und Determann mit 7 — 11% angegeben. Demnach wäre ſie in keiner Weiſe belanglos, und würde eine Mehrarbeit des rechten Ventrikels und als Folge ſeine Hypertrophie durch ſie in genügender Weiſe erklärt. Merkwürdige, dieſe Annahme ſtützende Befunde hat man bei Alpenſchneehühnern gemacht. Bei dieſen beobachtete Stäubli außergewöhnlich große Herzen und insbeſondere eine relative Vergrößerung des rechten Ventrikels, während er bei dem im Tieflande lebenden Moorſchneehuhn dieſe Befunde nicht erheben konnte. Experimente an Katzen werden ebenfalls zum Beweis herangezogen. Durch Stickſtoffatmung ließen ſich akute Herz-Dilatationen erzeugen (Loewy).

Man könnte nun fragen, warum die erhöhte Viscoſität nur eine Mehrbelaſtung des rechten Ventrikels hervorruft und nicht auch einen des linken. Eine Begründung dafür, daß dies nicht der Fall iſt, ſieht Koranyi darin, daß die Kreislauforgane die Fähigkeit beſitzen, eine Zunahme der Viscoſität im großen Kreislauf auszugleichen. Dies geſchieht wohl durch die mächtige vaſoregolatoriſche Fähigkeit des Organismus, deren volle Bedeutung bei Veränderungen der Blutviscoſität nach Koranyi bei pathologiſchen Polycythämieen zu erkennen iſt. So würde mit dieſer Hilfe eine Mehrbelaſtung der linken Kammer durch die Höhenpolycythaemie vorgebeugt.

Wir kommen nach dieſen Feſtſtellungen auf das überaus wichtige Problem der Kompenſation des Sauerſtoffmangels zuſammenfaſſend zu ſprechen. Wie wir ſchon ſahen, wird die Verminderung der Sauerſtoffzufuhr durch eine Blutvermehrung kompenſiert, und zwar ſteigt die Polycythaemie ſo weit, daß der Haemoglobingehalt bis zu der Grenze erhöht iſt, bei welcher der Sauerſtoffgehalt des Blutes trotz der Herabſetzung

der Sauerſtoffſpannung dieſelbe wie im Tiefſande bleiben würde. Durch die Polycythaemie wird alſo verhindert, daß der Organismus die vermehrte Sauerſtoffzufuhr durch eine Beſchleunigung der Zirkulation erreichen müßte. Durch die Zellvermehrung iſt aber eine Erhöhung der Viscoſität notwendig gegeben. Dieſe wird ihrerſeits durch das vaſoregulatoriſche Syſtem im großen Kreislauf, im kleinen durch eine Mehrarbeit des rechten Ventrikels ausgeglichen. Wichtig iſt dabei, daß die Höhenpolicythaemie nur die ſie auslöſende Abnahme des Sauerſtoffgehaltes kompenſieren kann. Jede körperliche Arbeit muß in der Höhe dagegen eine zunehmende Beſchleunigung der Zirkulation und Steigerung der Atmung ergeben, da ja ſchon in einer Richtung eine kompenſatoriſche Mehrarbeit des Kreislaufapparates geleiſtet wird. Auf Grund dieſer Tatſache finden wir eine Erklärung dafür, warum die Leiſtungsfähigkeit des Menſchen im Anfang nach der Überſiedlung in größere Höhen abnimmt und Herzkranke unter der Grenze der Kompenſation das Hochgebirgsklima ſo auffallend ſchlecht vertragen.

Die Höhenpolycythaemie hat nun offenbar nur den Zweck und wohl auch nur die Fähigkeit, die Abnahme des Sauerſtoffgehaltes des arteriellen Blutes zu verhindern, während ſie die Abnahme der Sauerſtoffſpannung nicht korrigieren kann. Zu dieſem Zwecke vermehrt der Organismus wohl die Frequenz der Atmung; denn durch eine Vermehrung des Atemvolumens iſt es am eheſten möglich, den Unterſchied zwiſchen dem Sauerſtoffdruck der atmoſphäriſchen Luft und der Alveolarluft auszugleichen. Kommt es, wie im Höhenklima, zu einer Abnahme des Sauerſtoffpartiardrucks der Luft, ſo muß ſich mit der Abnahme des Sauerſtoffdrucks der Alveolarluft auch der Partiardruck des Sauerſtoffs im Blut verringern. Die vermehrte Atmung ſorgt nun dafür, daß dieſe Abnahme der Sauerſtoffſpannung im Körper gemäßigt wird. Wie kommt es aber zu dieſer reaktiven Frequenzerhöhung der Atmung? Offenbar doch durch den Reiz der geringeren Sauerſtoffſpannung im Blut auf das Atemzentrum. Die elektive Wirkung einer Veränderung der Sauerſtoffſpannung im Blut auf die nervöſen Zentren wurde ſchon erwähnt. Sie gilt

als gesicherte Tatsache. Nach Loewy besteht also kein Zweifel, daß das Atemzentrum mit zu den Organen gehört, deren Sauerstoffversorgung also mit der absoluten Sauerstoffspannung im Blute schwankt, und deren eigener Sauerstoff im Höhenklima vermindert wird. Diese Verminderung wirkt als Reiz und führt zur reaktiven Erhöhung der Atemfrequenz.

Im engsten Zusammenhang mit dem Kreislauf und der Gewebsatmung stehen die Stoffwechselvorgänge. Auch an ihnen sieht man im Höhenklima unter dem Einfluß der Sauerstoffabnahme deutliche Veränderungen. Es sind die verschiedensten Untersuchungen über den Stoffwechsel im Hochgebirge unternommen worden. Berühmt sind die von Zuntz und Loewy in den Jahren 1904/05. Doch sind die Ergebnisse keineswegs übereinstimmend. Als gesichert können folgende Feststellungen gelten:

1. Der Energieverbrauch ist im Hochgebirge größer als im Tieflande; beim Gehen über eine horizontale Fläche wurde in 2900 Meter Höhe eine Zunahme von 14% festgestellt. Bei jeder Arbeit kommt es zu einer noch mehr gesteigerten Verbrennung.
2. Ist der Gaswechsel erhöht.
3. Finden wir die Toleranz für Kohlenhydrate erhöht, Glykosurien sollen wesentlich später auftreten, was für Diabetiker von großem Vorteil ist.
4. Eine besondere Rolle spielt der Eiweißstoffwechsel. Im allgemeinen wird häufiger Stickstoffretention beobachtet, d. h. eine echte Neubildung von Körpereiweiß tritt eher auf als das Gegenteil. In den Höhen sind allerdings auch recht erhebliche Stickstoffverluste nachgewiesen worden. Sonst kommt aber in den der Kur dienenden Höhenlage von 1500—2000 Meter bei zweckmäßiger Körperarbeit in erster Linie Eiweißansatz vor. Bei gesunden Menschen des jugendlichen und mittleren Alters ist also meistens bei einem Aufenthalt im Hochgebirge ein erfreulicher Eiweißansatz festgestellt. Diese Tatsache veranlaßte Zuntz, begeistert von der „verjüngenden Wirkung des Gebirgsaufenthaltes zu reden, die den Bestand

des Organismus an dem wichtigſten organiſchen Material vermehrt".

Einer beſonderen Erwähnung bedarf die im Hochgebirge beobachtete größere Ammoniakausſcheidung im Harn. Sie wird als eine Abwehrreaktion des Körpers aufgefaßt, und zwar glaubt man, daß die vermehrte Ausſcheidung alkaliſierender Flüſſigkeit eine Überſäuerung des Blutes ausgleichen ſoll (Laquer). Die Tatſache, daß im Hochgebirge vielfach das Auftreten von intermediären Stoffwechſelprodukten ſowohl im Urin wie im Blute beobachtet werden konnte, läßt die Annahme zu, daß wir es im Hochgebirge mit einer relativen Acidoſe zu tun haben. Die Abnahme des Kohlenſäuregehaltes im Höhenblute, allerdings über der Höhenklimagrenze, konnte einwandfrei feſtgeſtellt werden (Mosso und Marra). Ebenſo wurde in großen Höhen ein erniedrigter reſpiratoriſcher Quotient gefunden. Beides ſpricht dafür, daß die Kohlenſäureproduktion vermindert iſt, und folglich im Höhenklima die Möglichkeit einer relativen Verſchiebung der Blutreaktion nach der ſauren Seite beſteht. Doch iſt der unbedingte Beweis hierfür ſehr ſchwer zu erbringen. Zunächſt iſt der Nachweis der Verminderung des Kohlenſäuregehaltes für das Höhenklima ſelbſt noch nicht einwandfrei erbracht, trotzdem darf ſie als ziemlich ſicher angenommen werden. Dann konnte bisher ein anderer Faktor, der eine relative Acidoſe nach den herrſchenden Anſchauungen ſo gut wie ſicher machen würde, bisher nicht eindeutig beſtimmt werden, nämlich das Auftreten von Milchſäure im Blut. Eine Überſäuerung des Blutes wird ja nicht nur durch eine vermehrte Ausſcheidung von Kohlenſäure bedingt, ſondern in ähnlicher Weiſe ruft eine Anhäufung von Milchſäure im Blut, die durch ungenügende Oxydation aus den Muskeln ins Blut ausgeſchwemmt wird, eine Verminderung der Alkalireſerve hervor. Der Vorgang iſt hierbei nach Laquer folgender: Die Milchſäure, die bei jeder Muskelzuckung auftritt, aber gewöhnlich in einer ſpäteren Phaſe wieder verſchwindet, geht nur dann ins Blut über, wenn die Sauerſtoffverſorgung ungenügend iſt. Das kommt ſchon bei einer gewöhnlichen Übermüdung regelmäßig vor. Im Blute, aus dem ſie nicht wie die

Kohlensäure durch die Atmung leicht entweichen kann, neutralisiert sie nun einen Teil des Bikarbonats. Die dadurch entstehende Acidose wirkt als Reiz auf das Atemzentrum, sodaß als Folge eine Steigerung der Lungenventilation resultiert. Auf diese Weise wird ein Ausgleich in dem Verhältnis zwischen Kohlensäure und Bikarbonat geschaffen, allerdings, da die Menge an Bikarbonaten durch die Milchsäure verringert ist, nur auf dem Wege auch einer Verringerung des Kohlensäuregehaltes im Sinne der für die Blutreaktion bestimmenden Gleichung: $\frac{H_2C\,O_3}{Na\,HCO_3} = konst.$

Es ergäbe sich daraus eine geringere Kohlensäurespannung im Blute und ebenso in der Alveolarluft, also auf dem Wege einer vermehrten Milchsäureausscheidung.

Die Bedeutung des Nachweises von erhöhten Milchsäurewerten im Blute für die Frage, ob im Höhenklima unter dem Einfluß des Sauerstoffmangels eine Acidose auftritt, kann also nicht außer Frage stehen. Nach Loewy ist sie bisher auch von einem Forscher experimentell bei sauerstoffarmer Luft im Blute in genügender Weise dargestellt worden. Aber im Hochgebirge sind erhöhte Milchsäurewerte bisher noch nicht gefunden worden. Trotzdem glaubt Loewy im Auftreten intermediärer Stoffwechselprodukte, in der Verminderung der Kohlensäurespannung im Blute wie in der Alveolarluft genügend Anhaltspunkte für die Annahme einer Acidose zu haben, vor allem, da die Verminderung des Sauerstoffgehaltes in der Luft diese nach seiner Ansicht geradezu fordert.

Die Unmöglichkeit, auf diesem Wege die Verminderung der Kohlensäurespannung einwandfrei zu erklären, führte zu anderen Theorien über die Veränderung der Blutreaktion. Da sind zunächst jene zu erwähnen, die eine Herabsetzung der Kohlensäurespannung in der Alveolarluft bedingt sieht durch eine übermäßige Steigerung der Atmung, was in gewisser Beziehung für das Höhenklima zweifellos zutrifft. Nach Laquer braucht eine Steigerung der Atmung nicht nur durch eine Änderung der Blutreaktion im Sinne einer Acidose verursacht zu sein, man könnte sich denken, daß aus anderen Gründen, etwa durch eine abnorme Erregbarkeit

des Atemzentrums im Höhenklima, wie ſie von vielen Forſchern direkt angenommen wird, und wie ſie uns ſchon als Folge der Abnahme der Sauerſtoffſpannung im Blute gegeben ſchien, eine vertiefte Atmung zuſtande kommt. Die Folge davon würde ſein, daß durch die ſtärkere Ventilation aus dem Organismus mehr Kohlenſäure ausgewaſchen würde und dadurch eine Verſchiebung der Blutreaktion hervorgerufen würde, allerdings nicht nach der ſauren Seite, ſondern nunmehr im Sinne einer relativen Alkaloſe (Laquer). Für dieſe wäre das Fehlen der vermehrten Milchſäurewerte im Blute weiter nicht merkwürdig, andererſeits die verminderte Alveolarſpannung der Kohlenſäure durch die Annahme einer Alkaloſe gut erklärt. Dagegen würde die Verminderung des Sauerſtoffs und Kohlenſäurebindungsvermögen im Blute keine genügende Erklärung finden können. Für die Annahme einer Alkaloſe ſprechen aber ohne Zweifel Verſuche von Haldane und Georgy. Es iſt bekannt, daß eine echte Alkaloſe ſogar pathologiſche Erſcheinungen hervorrufen kann, wie z. B. das Bild der in der letzten Zeit mehrfach beſchriebenen Hyperventilationstetanie. Während in Heidelberg eine 400 Sekunden dauernde Hyperpnoe eine Alkaloſe hervorrufen kann, genügt in Davos ſchon 90 und in dem noch höher gelegenen Schirhorn ſogar nur 50—70 Sekunden, um zu einer Alkaloſe mit deutlichen Tetanieſymptomen zu führen. Trotzdem vermögen wir uns dieſer Theorie nicht anzuſchließen, konnte Gigon doch bei einem Kaninchen durch verminderten Luftdruck in einwandfreier Weiſe eine Acidoſe erzeugen und Mosso dasſelbe bei einem Menſchen auf dem Monte Roſa. Eine Entſcheidung darüber, ob wir im Höhenklima eine relative Acidoſe oder Alkaloſe des Blutes vor uns haben, kann jedoch eher nicht gefällt werden, als bis weitere Experimente mehr Licht in dieſen Fragenkomplex werfen. Einſtweilen möchten wir mit Koranyi annehmen, daß die Reizung des Atemzentrums und die damit verbundene Steigerung der Atmung im Höhenklima, die unter dem Einfluß der zwar geringgradigen Sauerſtoffarmut entſteht, wohl doch durch eine relative Acidoſe hervorgerufen werden. Dieſe Verſchiebung des Blutreaktion mag ſo hochgradig ſein, daß man ſie experimentell noch

nicht feſtſtellen kann, aber ſie genügt, um eine Reizung des Atemzentrums zu bewirken. Durch die dadurch bedingte ſtärkere Atmung wird ſofort die Kompenſation dieſer Acidoſe in die Wege geleitet, ſodaß nunmehr durch vermehrte Ausſchwemmung von Kohlenſäure eine, wenn auch vorübergehende, Alkaloſe einſetzt, die offenbar an ihren Symptomen nachweisbar iſt. Hier finden wir eine Erklärung für das periodiſche Atmen in der Höhe: Beſchleunigung und Vertiefung der Atmung mit längeren Atempauſen und zeitweiliger Verflachung der Atmung wechſelnd.

Während in dieſem Erklärungsverſuch das Auftreten intermediärer Stoffwechſelprodukte im Blute nicht weiter berückſichtigt iſt, haben andere Forſcher die Acidoſe gerade durch ſie zu erklären verſucht. v. Schroetter möchte die nachgewieſenen, im Blut und Urin auftretenden, abgebauten Aminoſäuren für die Entſtehung einer Acidoſe verantwortlich machen. Es handelt ſich dabei um Tyroſin- und Tryptophanabkömmlinge, die in der beſonnten Haut entſtehen. Durch dieſe Annahme wird zum erſten Male ein anderer Faktor des Höhenklimas, nicht wie wir bisher ſahen, die Sauerſtoffverminderung, ſondern das Strahlungsklima zur Erklärung der Stoffwechſelvorgänge herangezogen. Im allgemeinen iſt man jedoch mehr geneigt, die Wirkung der Sauerſtoffabnahme als auslöſende Urſache anzuſehen. Für dieſe erſte Annahme ſprechen u. a. auch noch die Befunde von Hoogenhuize und Herploet. Sie fanden im Hochgebirge zum Teil weſentlich größere Mengen Kreatin im Harn und konnten feſtſtellen, daß dieſe durch Sauerſtoffatmung prompt herabgeſetzt werden. Auch Manacardas konnte an Tierexperimenten zeigen, daß bei geringem Sauerſtoffgehalt der Luft zwar nur eine mäßige Verminderung der Geſamtſtickſtoffausſcheidung eintritt, dagegen die Harnſtickſtoffretention eine erhebliche iſt.

Hiermit ſei die Beſchreibung der weſentlichen bisher bekannten phyſiologiſchen Wirkungen der Sauerſtoffverminderung im Höhenklima abgeſchloſſen. Weitere Änderungen, vor allem au dem Gebiete des Stoffwechſels werden unten bei der Betrachtung der Phyſiologie des Strahlungsklimas noch behandelt.

Zusammenfassend läßt sich aber sagen, daß ohne Zweifel der früher wenig beachteten Verminderung des Sauerstoffpartiardrucks im Hochgebirge in physiologischer Hinsicht eine bedeutende Rolle zukommt, ja ihr Vorhandensein offenbar den Charakter des Höhenklimas und die besondere Beeinflussung des Organismus durch dieses in erster Linie mitbestimmt.

Zugleich sind wir durch die mannigfachen Untersuchungen und Ergebnisse zu der Erfahrung gelangt, daß die Bedeutung des Sauerstoffgehaltes der Außenluft für den menschlichen Organismus von außerordentlichem Einfluß ist, den man früher in dieser Feinheit nicht entfernt geahnt hat.

Andererseits geben sie uns einen Einblick in die Fähigkeit des Organismus, einen, wenn auch geringen Ausfall des zugeführten Sauerstoffes auszugleichen und für den Fall der dauernden Sauerstoffverminderung, wie es im Höhenklima der Fall ist, eine relative Immunität zu erwerben. Diese ist nach v. Schroetter für die therapeutisch wirksamen Höhen eine sogar fast absolute. Wir schließen diesen Abschnitt mit v. Schroetters Worten: „Der Sauerstoff ist, wie dies zuerst der Genius eines Lavoisier erkannte, der Erhalter des Lebens auf der Erde, gegen dessen Mangel es eine absolute Immunität nicht geben kann. Der Organismus von Tier und Pflanzen vermag sich gemäß der besonderen Differenzierung seiner Protoplasmastruktur immer nur innerhalb bestimmter, wenn auch relativ weiter Grenzen zur zu Wehr setzen. Die Klimareize wirken nicht unmittelbar. Die zur Erwerbung der Immunität gegen ein Klima notwendigen Anpassungsvorgänge bilden unter anderem die physiologischen und pathologischen Wirkungen des Klimas, u. a. das Therapeuticum gegen die Tuberkulose. Dies gilt namentlich auch für das durch verminderten Sauerstoffdruck getönte Höhenklima".

Im Gegensatz zu den von der Sauerstofferniedrigung ausgehenden Reizen, greift die Strahlung ähnlich wie auch die sogenannten Wärmefaktoren: Lufttemperatur, Feuchtigkeit und Luftbewegungen, nicht im Körper, sondern an der Haut an. Daß die Strahlung und vor allem ihr ultravioletter Anteil an der Wirkung des Höhenklimas auf den gesunden wie kranken Organis-

mus dominierend beteiligt ſei, war vorübergehend allgemeine Auffaſſung. Die bisherigen Ausführungen zeigten jedoch, daß nunmehr der Sauerſtoffverminderung zum mindeſten eine weitgehende Beteiligung an dem Zuſtandekommen der Höhenklimawirkung zugemeſſen wird, und dafür weſentliche Beweiſe und Tatſachen ſprechen. Über die Strahlenwirkung liegen nicht in gleichem Maße geſicherte und einheitliche Ergebniſſe vor, wenngleich es außer Frage ſteht, daß die reiche Strahlung im Hochgebirge mit ihrem großen Anteil an ultravioletten Strahlen der andere Faktor iſt, der das Höhenklima therapeutiſch ſo wirkſam macht.

Wenn wir hier von Strahlungswirkung reden, ſo meinen wir in beſonderem Sinne die chemiſch wirkſamen Ultravioletſtrahlen, von denen oben geſagt wurde, daß ihre Hauptintenſität auf einen engen Strahlenbereich in der Gegend der Wellenlänge 297 Mikr. beſchränkt iſt. Eben dieſes Strahlenmaximum zeigt aber auch die biologiſch ſtärkſte Wirkung. Eine der biologiſch charakteriſtiſchſten Eigenſchaften dieſes Strahlenbereiches iſt ſeine ausgeſprochene Baktericiditä̈t. In kurzer Zeit werden nicht nur Saprophyten, ſondern alle pathogenen Mikroorganismen durch ultraviolette Strahlung vernichtet. Dieſe Tatſache hat man anfangs ſtark überſchätzt. Wohl dürfen wir annehmen, daß die Keimfreiheit im Höhenklima durch die verſtärkte ultraviolette Strahlung mitbedingt iſt, doch eine Abtötung von Keimen im Organismus kann nicht in Frage kommen, da die Wirkung der kurzwelligen Strahlen nur bis in die oberſte Hautſchicht reicht und eine Beeinfluſſung von Keimen durch ſie lediglich auf der Hautoberfläche möglich iſt. Eine therapeutiſche Einwirkung auf die Tuberkuloſe iſt mithin in dieſem Sinne, wie man ſie urſprünglich für das Strahlungsklima des Hochgebirges anzunehmen geneigt war, undenkbar.

In Bezug auf den menſchlichen Organismus kann die Strahlenwirkung auf direktem und indirektem Wege zuſtande kommen. Die direkte bezieht ſich auf den der Strahlung ausgeſetzten Teil des Körpers, alſo die Haut, und beſteht in den Veränderungen dieſer: Rötung, Schwellung und Blaſenbildung

und insbesondere der eigenartigen Pigmentbildung. Die indirekte Wirkung ist als eine Fernwirkung aufzufassen, sie besteht in einer Beeinflussung innerer Funktion des Körpers und äußert sich in einer Änderung der Atmung, Senkung des Blutdrucks, einer gewissen Zunahme der Blutzellenzahl, einer Anregung des Stoffwechsels und einer Vermehrung des Minutenvolumens des Herzens, nicht zuletzt aber in einer sehr bedeutsamen Beschleunigung des Knochenwachstums im allgemeinen und einer Beeinflussung der Knochenneubildung im besonderen.

Die Einwirkung auf den Kreislauf und die Atmung im verstärkenden Sinne ist zwar noch nicht eindeutig nachgewiesen, wird aber in mäßigen Grenzen für das Strahlungsklima angenommen. Dann muß die ätiologische Erklärung der Veränderungen am Kreislauf und der Atmung, wie wir sie oben beschrieben haben, durch den Sauerstoffmangel allein eine Einschränkung erfahren, vielmehr wirken offenbar beide Faktoren in dieser Richtung synergistisch. Am Blute lassen sich außerdem auch für die Strahlenwirkung spezifische Veränderungen nachweisen. Nach Loewy ist die Resistenz der roten Blutkörperchen und die Blutneubildung nicht nur vermehrt, sondern auch beschleunigt. Entsprechend soll die Haemolyse gesteigert sein.

Besonderes Interesse verdienen die Veränderungen des Stoffwechsels unter dem Einfluß der Strahlenwirkung. Bei der Menge der einzelnen, zum Teil nicht übereinstimmenden Befunde, schließen wir uns in erster Linie den Mitteilungen Loewys an.

Der Eiweißstoffwechsel wird, wie wir schon oben andeuteten, durch das Strahlenklima ebenfalls beeinflußt. Wir sahen schon bei der Besprechung der Einwirkung der Sauerstoffverminderung im Höhenklima, daß eine im Durchschnitt wenigstens unverkennbare Vermehrung des Eiweißansatzes in den Vordergrund tritt. Ähnliches wird von der Strahlenwirkung angegeben, die Eiweißbildung und Stickstoffassimilation ist dann im Höhenklima ohne Zweifel durch die Strahlung mitbedingt. Andererseits kann nach Loewy aber auch der Eiweißzerfall, vor allem dann, wenn der Bestrahlung eine Sensibilisierung vorausgeht, so verän-

dert werden, daß die prozentige Ammoniakausſcheidung im Harn zunimmt, ähnlich wie „das bei mit Acidoſe einhergehenden Krankheiten der Fall iſt“. Beſonders werden nach Pincuſſen einige ſpezifiſche Arten des Eiweißes und vor allem gewiſſe Eiweißabbaukörper gebildet. Durch Beſtrahlung konnte dieſer im Blute Eiweißabſpaltungsprodukte erzeugen, von denen eine Aktivierung des Stoffwechſels angenommen werden muß. Selbſt wenn noch keine Veränderung der beſtrahlten Haut nachweisbar iſt, treten im Blute fermentative Vorgänge auf, die die protein-, fett- und zuckerſpaltenden Wirkungen des Blutes verändern, und zwar zunächſt aktivieren, bei längerer Einwirkung aber ſchädigen. „Vielleicht ſpielen hier Produkte zugrunde gegangener Zellen, die man auch Nekrohormone nennt, eine urſächliche Rolle“ (Loewy).

Der Nukleinſtoffwechſel erfährt ebenfalls unter der Einwirkung der Strahlen eine Erhöhung. Nach Loewy ſoll die Nukleinſäure unter Beſtrahlung bis zur Oxalſäure abgebaut werden, was ja in der Norm nicht vorkommen dürfte.

Auch der Kohlenhydratſtoffwechſel wird verändert, wie oben ſchon angeführt. Gigon beobachtete bei einer Patientin beim Aufſtieg von Baſel nach Davos eine Erhöhung der Kohlenhydrattoleranz von 120 auf 200 binnen weniger Tage. Es konnte mehrfach bei der Beſtrahlung mit ultravioletten Strahlen eine Herabſetzung des Blut- und Harnzuckers, unter Umſtänden auch der Acetonmenge im Harn nachgewieſen werden. Demnach müſſen wir dieſe Wirkung des Höhenklimas, die wir oben ſchon aufführten, wohl ſeinem Reichtum an ultravioletten Strahlen zuſchreiben.

Als Folge von Beſtrahlung fand Pincuſſen u. a. auch eine weſentliche Änderung des Mineralſtoffwechſels. Danach iſt mit Beſtimmtheit anzunehmen, daß der Kaliumgehalt des Blutes geringer als unter normalen Bedingungen iſt und zwar auf Koſten des phosphorſauren Kalkes. Das Verhältnis des Kaliums zum Calcium wird deswegen im Blute vermindert, während es im Harn dagegen weſentlich zunimmt. Calcium und Kalium haben aber bekanntlich beſondere Beziehung zum vegetativen Syſtem. Dieſes müßte alſo unter Umſtänden auch eine Beein-

flussung erfahren, und tatsächlich wird von Rothmann eine Veränderung beschrieben. Er fand eine merkliche Herabsetzung des Sympathicustonus im Höhenklima. Das entspricht durchaus dem Befund am Mineralstoffwechsel und so glaubt Rothmann die Verminderung des Sympathicustonus auf die Vermehrung des Blutkalkes zurückführen zu können.

Andererseits ist die Vermehrung des Blutkalkes für die Knochenbildung von größter Bedeutung. Diese Tatsache ist es denn auch, die in den letzten Jahren das Strahlenklima in den Mittelpunkt des Interesses der gesamten Heilkunde gestellt hat, da es durch seine knochenbildende, im besonderen antirachitische Kraft berufen war, den Weg zu einer endgültigen Beseitigung dieser Krankheit zu weisen.

Bedeutsam in dieser Richtung sind da zunächst die Untersuchungen von Racynski gewesen, der bei jungen Hunden, die er im Finstern aufzog, gegenüber besonnten Hunden eine bedeutende Abnahme des Kalk- und Phosphorgehaltes ihrer Knochen nachweisen konnte. Andererseits hatten die der Sonnenstrahlung entzogenen Tiere einen vermehrten Ansatz von Chlor gezeigt. Neuerdings haben die Amerikaner Hess und Unger mit Bestrahlung allgemein eine Steigerung des anorganischen Phosphors und des Calciums erzeugen können. Dabei traten bei gesunden Tieren übernormale Mengen auf, während bei rachitischen mit krankhaften Blutphosphormengen diese auf normale Höhen gebracht werden konnte.

Zur Bildung des Knochens ist ja eine ausreichende Zufuhr von Phosphorsäure und Calcium dringend notwendig, wie seit längerer Zeit hinreichend bekannt war. Erst in neuester Zeit aber gelang es amerikanischen Forschern, nachzuweisen, daß nicht so sehr die absolute Menge dieser Mineralien für die Knochenbildung von Bedeutung ist, sondern vielmehr das richtige Verhältnis von Calcium zur Phosphorsäure, wenn ein einwandfreies Knochenwachstum möglich sein soll. Und schließlich genügt auch das nicht einmal, wenn dem Körper nicht eine verhältnismäßig kleine Menge des bekannten antirachitischen Vitamins zur Verfügung steht, das nach Mc. Collum die Bezeichnung D erhielt, und als wesentliche Eigenschaft die der Fettlöslichkeit besitzt.

Iſt nun ſchon das Verhältnis von Phosphorſäure zu Calcium im Organismus weitgehend von der Strahlung abhängig, ſo zeigt noch viel engere Beziehungen zu der Ultravioletttſtrahlung dieſes durch dieſe Tatſache ſo bekannt gewordene Vitamin D.

Schon lange iſt bekannt, daß die Rachitis in erheblichem Maße durch Mangel an Sonnenlicht einerſeits und Vitaminarmut andererſeits begünſtigt wird. Dieſe Tatſache veranlaßte Hess, die Bedeutung der ultravioletten Strahlen für die Vitaminbildung im Sinne einer rachitiſchen Wirkung zu unterſuchen. Dabei fand er, daß völlig vitaminfreies Leinſamenöl das alſo auch antirachitiſch unwirkſam war, ſchon nach 30 Minuten Beſtrahlung ebenſo antirachitiſche Wirkung zeigte, wie Lebertran. Beſonders auffällig war dabei, daß die beſtrahlten Öle den Geruch von Fiſchtran angenommen hatten. Derartige Aktivierungsverſuche ſind dann auf die verſchiedenſten Subſtanzen ausgedehnt worden. Es gelang nicht nur, gekeimten Weizen und einen Brei aus Hirſe (Steenbock) antirachitiſch wirkſam zu machen, ſondern auch Milch und tieriſche Organe, wie Leber, Lunge und Muskulatur, ja auch Choleſterin und Glycerin. Auf Grund dieſer Tatſache beſteht kein Zweifel mehr, daß die Ultravioletttſtrahlung im weiteſten Sinne antirachitiſche Wirkung beſitzt auf dem Wege einer Aktivierung eines antirachitiſchen Vitamins in allen möglichen, in erſter Linie fetthaltigen Subſtanzen. Die Erklärung dieſer merkwürdigen Befunde wurde zuerſt darin geſucht, daß man an eine Wirkung von Fermenten glaubte. Dieſe Annahme wurde jedoch durch weitere Unterſuchungen ausgeſchloſſen. Hess und Weinſtock konnten nachweiſen, daß auch bei gewöhnlichen wäſſrigen Aufſchwemmungen von Choleſterin und Phyſoſterinen durch ultraviolette Beſtrahlung dieſe ebenſo antirachitiſch wirkſam gemacht werden konnten, wie es bei Ölen und Organen möglich iſt. Damit iſt die Vorſtellung, daß man es hier mit einem fermentativen Prozeß zu tun habe, widerlegt. Vielmehr muß man für die antirachitiſche Wirkung die Erklärung in einer chemiſchen Umlagerung ſuchen. So konnte Stepp mit Recht 1925 ſagen: „Da das Choleſterin ein kriſtalliniſcher Körper iſt, muß man annehmen, daß die Wirkung der ultravioletten Strahlen ein chemiſcher Vorgang iſt, der in einer

intramolekularen Umlagerung beſteht. Die chemiſche Natur des von der Sonne gebildeten antirachitiſchen Vitamins iſt noch nicht bekannt". Inzwiſchen iſt es im Jahre 1927 bereits dem Chemiker Windaus gelungen, dieſes geſuchte Vitamin ſynthetiſch herzuſtellen; es iſt unter dem Namen Vigantol oder beſtrahltes Ergoſterin in die Therapie bereits eingeführt und bedeutet einen hervorragenden Fortſchritt auf dem Gebiete der klimatotherapeutiſchen Wiſſenſchaft.

Nach den Beobachtungen über die Bildung von antirachitiſchem Vitamin in allen möglichen Arten von in erſter Linie fetthaltigen Subſtanzen unter dem Einfluß der Ultraviolettſtrahlung war zugleich auch ein indirekter Weg zur Therapie der Rachitis gegeben, der heute ebenfalls in weiteſtem Maße ſchon praktiſche Bedeutung gewonnen hat. Ohne erſt das Vitamin ſelbſt darzuſtellen, iſt es möglich, dieſes dem kranken Menſchen in einfacher Weiſe darzureichen, indem man nur ein geeignetes Nahrungsmittel, wie es z. B. die Milch in hervorragender Weiſe darſtellt, durch ultraviolette Beſtrahlung antirachitiſch wirkſam macht. Dieſe Methode der Rachitistherapie wird bereits in ausgedehntem Maße in Frankfurt a. M. und an anderen Stellen mit beſtem Erfolg durchgeführt.

Aber kein Zweifel, wenn ſolche Aktivierung von antirachitiſchem Vitamin ſchon außerhalb des Organismus durch die Kraft der ultravioletten Strahlung hervorgerufen werden kann, ſo ſicherlich auch, wenn nicht noch beſſer im lebenden Organismus ſelbſt. Dafür ſprechen unbedingt die therapeutiſchen Erfolge bei Rachitis im Höhenklima oder im allgemeinen mit jeder Form von ultravioletter Beſtrahlung. Früher ſagte das jedem Arzt die Erfahrung. Heute findet es ſeine Erklärung in der einwandfrei feſtgeſtellten antirachitiſchen Wirkung der ultravioletten Strahlen, im Sinne der Aktivierung des nunmehr bekannten antirachitiſchen Vitamins. Ihre Wirkung auf den Organismus wird dadurch deutlicher gemacht, daß dem menſchlichen Hautfett eine beſondere Reaktionsfähigkeit zukommt (Haxthauſen). Andererſeits iſt auch am Blut eine ähnliche Lichtwirkung erzeugt worden, wie ſie bei beſtrahltem Leinſamenöl auf der photographiſchen Platte hervor-

gerufen wurde. Zwar ist bisher der Zusammenhang zwischen antirachitischer und photochemischer Wirkung noch nicht aufgedeckt; nach Sonne spricht aber vieles dafür, daß ein solcher besteht. Jedenfalls müssen wir nach dem oben Gesagten der direkten Einwirkung der ultravioletten Strahlen auf den Organismusmus für die Frage der Knochenbildung und der Rachitisverhütung die größere Bedeutung zumessen. Die Frage der Vitaminerzeugung in der Außenwelt ist nur eine sekundäre, wenn auch fast ebenso wichtig, aber sie kommt erst dann in Frage, wenn dem Menschen selbst die genügende Strahlung fehlt oder dann, wenn er unter zeitweilig schlechten Strahlungsbedingungen, vor allem zur Zeit seiner körperlichen Entwicklung mit den Zeichen einer verminderten Knochenbildung behaftet ist. Der kindliche Organismus kann auf das Sonnenlicht und in Sonderheit seine ultraviolette Strahlung ohne ernste Störung seiner Knochenbildung nicht verzichten, es sei denn, daß seine Nahrung abgesehen von den notwendigen Abbaustoffen Calcium und Phosphor einen sehr großen Überschuß von antirachitischem Vitamin enthält. Diesen Fall sehen wir verwirklicht bei den Lappländern, in deren Nahrung das Fleisch der Fische und die Fischtrane mit ihrem großen Gehalt an antirachitischem Vitamin eine lebensnotwendige Rolle spielt. Fehlt der Nahrung die reichliche Zufuhr an diesem Vitamin, und sind wie im Tieflande im Verhältnis zum Höhenklima, oder in der Großstadt im Verhältnis zum Lande die Strahlungsbedingungen, wenn auch nicht das ganze Jahr, so doch während einiger Monate, im Winter und Frühjahr, äußerst schlecht, so muß es notgedrungen bei den solchen Bedingungen ausgesetzten Kindern zu rachitischen Krankheitserscheinungen kommen. Es erscheint also erklärt, warum gerade in die erste Hälfte des Kalenderjahres, der Zeit der größten Trübung der Atmosphäre vor allem in Großstädten ungefähr $^3/_4$ aller Rachitiserkrankungen fallen, während im Sommer nur relativ wenig Erkrankungen vorkommen. Der Amerikaner Hess konnte in einleuchtender Weise an New-Yorker Kindern nachweisen, daß der „Blutphosphatspiegel den Verhältnissen der Strahlung entsprechend, richtige Gezeiten aufweist, ein Abebben im Winter und Frühjahr, ein Ansteigen im Sommer" (Stepp).

Durch alle diese Tatsachen gewinnt das Strahlenklima des Hochgebirges an Bedeutung in der klimatotherapeutischen Wissenschaft. Es erklärt das geringe Auftreten der Rachitis in der Höhe und der relativ starke Strahlenreichtum im Winter gibt Aufschluß über den besonders heilsamen Einfluß von Winterkuren im Höhenklima auf die Rachitis. Enthält es doch physiologisch das, was im Tiefland und vor allem in der modernen Großstadt dem Organismus immer wieder neu zugeführt werden muß, wenn es dort nicht zu krankhaften Erscheinungen der Knochenbildung kommen soll.

Mit alledem haben wir nicht nur einen weiten Schritt in der Erkenntnis der Entstehung und Heilung der Rachitis gewonnen, diese Zusammenhänge können uns auch für ein tieferes Verständnis der Strahlenwirkung richtunggebend sein.

Als die typischste und allgemeinste Wirkung der ultravioletten Strahlen muß ohne Zweifel ihre direkte, d. h. also die Veränderung auf der menschlichen Haut angesehen werden. An der Haut vollzieht sich nach Pincussen folgende bekannte, aber immer wieder merkwürdige Reaktion. „Sie wird durch aktinische Strahlung gereizt, gerötet und später gebräunt. Die Strahlung selbst wird nicht gefühlt, ihre Wirkung wird erst nach einer Latenzzeit von mehreren Stunden deutlich". Innerhalb der Haut besteht eine Gefäßerweiterung und wie wir schon sahen, eine Beeinträchtigung des Sympathicustonus. Um die Gefäße findet sich Zellwucherung und im ganzen kommt es zu einer Verdickung sowohl der Stachelschicht wie der oberen Epidermislagen. Als Nacherscheinung tritt dann später Pigmentvermehrung und Bräunung auf. Wie schon Finsen angenommen hat, ist die Hautpigmentation als der Kernpunkt der Strahlenreaktion anzusehen. Was haben wir uns unter dieser Pigmentation vorzustellen?

Die allgemeinste Auffassung ist die der einfachen Schutzwirkung gegen die schädlichen Einflüsse der allzu starken hochaktinischen Strahlung. Bering und Meyer vor allem vertreten diese Ansicht. Sie meinen, die Epidermis habe die wichtige Aufgabe, die toxischen Strahlen von den Hautkapillaren fernzuhalten und dieser Aufgabe würde sie durch Bildung einer Pigmentschirmes

gerecht. Es ſteht wohl außer Zweifel, daß eine derartige Wirkung dem Hautpigment tatſächlich und weitgehendſt zukommt, denn mit der Stärke der Pigmentation nimmt die Strahlenwirkung auf der Haut ab, aber andererſeits gilt die Pigmentation ſchon lange als ein Maßſtab einer wirkſamen Höhenſonnenkur, ſodaß man eigentlich folgern müßte: Mit der Stärke der Pigmentation nähme auch die Strahlenwirkung auf den Organismus zu. Dieſe Anſicht vertritt vor allem Rollier. Er ſchreibt mit von Schrötter und Bering dem Pigment eine Rolle als Transformator oder Senſibiliſator zu, der die Tiefenwirkung der Strahlung im Sinne einer Abſorption der kurzwelligen Strahlung bedingt und dadurch eine Auswirkung im biologiſchen Sinne für den Organismus ermöglicht.

Sicher iſt, daß die Pigmentierung normalerweiſe in ihrer Intenſität mit der Intenſität, Dauer und der Zahl der Beſonnungen proportional iſt und einen alleinigen Effekt des kurzwelligen Anteiles des Spektrums darſtellt. Sicher iſt auch, daß ſie gerade die kurzwelligen Strahlen am Eindringen in tiefere Schichten hindert: So können wir mit Rollier ſagen, „die ausgebildete Pigmentierung ſchützt vor den deletären Wirkungen der kurzwelligen Strahlung. Sie iſt zunächſt eine Schutzreaktion der Haut für die Haut. Erſchöpft iſt aber ihre Aufgabe damit nicht“. Dieſe biologiſche Bedeutung der Pigmentierung iſt zwar nicht völlig erkannt, wir wiſſen aber von ihr folgendes: Sie abſorbiert nicht nur die geſamte kurzwellige Strahlung, ſondern verwandelt ſie dann in eine mehr langwellige. Die längeren Wellen dringen aber tiefer und werden vom Blut und den Geweben aufgenommen. Damit iſt aber die Bedeutung des Pigmentes nicht erſchöpft. Nach v. Schrötter und Bering u. a. werden unter dem Einfluß der fortdauernden Strahlung, wie oben angedeutet, in der Abſorptionsſchicht neue chemiſche Körper gebildet, die dann als Katalyſatoren in den Kreislauf gelangen, oder an Ort und Stelle wirkſam werden können. Wie wir ſahen, konnte die antirachitiſche Wirkung nicht als eine fermentative, ſondern als eine chemiſche erklärt werden. Auch die Unterſuchungen über die Bedeutung des Pigmentes führen auf eine chemiſche Umſetzung der Strahlenwirkung in der Epidermis. Nach intereſſanten Feſtſtellungen wurde

in den tiefſten Zellen der Oberhaut ein oxydierendes Ferment, das ſogenannte Dopa-Ferment gefunden, daß unter der Einwirkung des Lichtes einen vom Blute zugeführten Stoff, eben das Dopa, zu Pigment umwandelt. Es hat ſich herausgeſtellt, daß dieſes Dopa höchſtwahrſcheinlich identiſch iſt mit Dioxylphenylalanin, was in chemiſcher Hinſicht ja bekanntlich direkt verwandt mit Adrenalin iſt. Es liegt nach Bang nahe, anzunehmen, daß das Dopa ein Nebenprodukt der Adrenalinbildung iſt. Mit dieſer ſogenannten Dopatheorie des Pigmentes iſt die Erkenntnis der Strahlenwirkung zwar nicht entſcheidend gefördert, da ſie nach anderen Unterſuchungen noch nicht geſichert erſcheinen kann. Immerhin führt ſie zu der Erkenntnis, daß die Strahlenwirkung in erſter Linie eine chemiſche iſt, die dann ihrerſeits erſt Fermentaktivierungen hervorruft. Eine derartige Fermentbildung oder Mobiliſation von Fermenten ſoll nach Jesionek ihren unmittelbaren und ſichtbaren Ausdruck finden in der Vermehrung der Granula in der Baſalzellenſchicht. Mit dieſer Zellvermehrung geht vielleicht ein vermehrter Zellzerfall Hand in Hand, ſodaß wir auf die oben angeführte Anſicht Loewys zurückkommen, der die Strahlenwirkung durch abgebaute Eiweißkörper, ſogenannte Nekrohormone, bedingt ſehen möchte.

Wenn wir nun zum Schluß auf die allgemeine Klimawirkung kurz zu ſprechen kommen, ſo ſcheint es am wahrſcheinlichſten, daß ſie hervorgerufen wird durch die Bildung von Fermenten innerhalb der Haut, die in den Kreislauf übergehen, um ſo auf den Geſamtorganismus anregend zu wirken. Die Fermente ſelbſt aber werden erſt durch vorausgehende chemiſche Umwandlung aktiviert. Für dieſe Auffaſſung nicht nur der Strahlenwirkung, ſondern auch der Geſamtwirkung des Höhenklimas haben wir verſchiedene Anhaltspunkte. Sie iſt von Goldſcheider zuerſt vertreten worden und neuerdings von Loewy auch auf die Wirkung der Sauerſtoffverminderung auf den Organismus ausgedehnt worden. Dieſer ſchreibt der Luftverdünnung im Höhenklima eine weitgehende Analogie mit der unſpezifiſchen Reizkörperwirkung zu. Die Unterſuchungen von Laubender am Davoſer Inſtitut, die das Auftreten von tiefabgebauten Eiweißſpaltſtücken in der Leber

unter dem Einfluß von Luftverdünnung nachgewiesen haben, sind vielleicht tatsächlich ein Hinweis dafür, daß klimatische Einflüsse sowohl die des Strahlungsklimas wie der Sauerstoffverminderung zur Bildung von Eiweißabbauprodukten in den Organen führen können, die zugleich auch im Blute kreisen. Loewy folgert daraus: „Finden wir nun in vielfacher Beziehung, daß die Symptome, die durch das Höhenklima hervorgerufen werden, der Proteinkörperinjektion gleichen, dann ist es wohl nicht gewagt, die durch Strahlung oder Luftverdünnung herbeigeführten Höhenklimawirkungen zu den Proteinkörpereinwirkungen in Analogie zu setzen. Gemeinsam sind den letzteren und der Luftverdünnung z. B. die chemischen Veränderungen der Leber, das Ansteigen der Aminosäuren im Blute, gemeinsam auch die Steigerung des Eiweißzerfalles, ferner das Auftreten der Acidose. Ohne zunächst mangels weiteren experimentellen Materials sagen zu wollen, daß die von dem Höhenklima ausgehenden Wirkungen Proteinkörperwirkungen seien, kann man doch behaupten, das das Höhenklima bis jetzt das einzige Klima ist, das in seinen Wirkungen Beziehungen zu den unspezifischen Reizkörperwirkungen aufweist und daß es insofern berechtigt ist, seine Wirkungen mit dem der Proteinkörperinjektion in Parallele zu setzen".

Das Wesentliche an Loewys Gedankengängen erscheint uns nicht so sehr darin zu liegen, daß er die Höhenklimawirkung mit der der Proteinkörperinjektion in Parallele setzt, dafür sind vielleicht die Vorgänge bei der letzten selbst noch zu ungeklärt; wichtiger ist aber die klare Erkenntnis, daß das Wesen der Klimawirkung in einer Reizwirkung beruht, die weniger lokale Veränderungen schafft, als daß sie im Sinne einer Fernwirkung eine Umstimmung des gesamten Organismus hervorzurufen vermag.

Diese Feststellung besagt zwar über den Ablauf der Wirkung, die durch das Höhenklima, sei es nun die Sauerstoffverminderung oder die Strahlung, ausgelöst wird, noch nichts, ist aber doch von grundsätzlichem Wert. Daß es so ist, dafür sprechen ja nicht nur die vielen angeführten physiologischen Veränderungen im Organismus in Bezug auf Kreislauf, Stoffwechsel und Atmung, sondern auch nicht zum wenigsten die bedeutsame Einwirkung auf patho-

logiſche Prozeſſe. Die merkwürdig gute Beeinfluſſung aller Art von Geſchwüren, bei denen eine rein lokale Wirkung ſchon darum ausgeſchloſſen werden muß, weil ſie ebenſogut heilen, wenn geſunde Stellen des Körpers der Strahlung ausgeſetzt werden, zeigt das ebenſo deutlich wie die Ausheilung ſchwerer Lungentuberkuloſe. Vielleicht iſt darum die Heilungstendenz bei dieſen Krankheiten am richtigſten damit zu erklären, daß der kranke Organismus in dieſes andere Klima verſetzt worden iſt, das als Höhenklima einen beſonderen Reiz auf die Funktionen des Körpers ausübt. Ob wir nun ſolche Fernwirkung durch den Reiz der entſtehenden Eiweißabbauprodukte erklären müſſen oder durch reflektoriſche nervöſe Vorgänge oder etwa durch eine Umſtimmung des innerſekretoriſchen Syſtems, bleibt vorerſt eine offene Frage.

Literaturverzeichnis.

Die Verhandlungen der klimatologiſchen Tagung in Davos 1925, Baſel 1926.

Dorno: Klimatologie im Dienſte der Medizin 1920.

Götz: Das Strahlungsklima von Aroſa, Berlin 1926.

Geigel: Wetter und Klima, 1924.

Hellpach: Die geophyſiſchen Erſcheinungen und ihre Beziehungen zum Menſchen, 1923.

Linke: Die phyſikaliſchen Grundlagen des Klimas, Handb. der normal. und path. Phyſiolog., Berlin 1926.

Kestner: Die phyſiologiſchen Wirkungen des Klimas, ebenda.

Loewy: Der heutige Stand der Phyſiologie des Höhenklimas, Erg. d. Hygiene 1926, Bd. 8.

„ Über Beziehung der Höhenklimafaktoren zur Pathologie, Deutſch. med. Wochenſchr. 1927, Nr. 1.

Marten: Das Strahlungsklima von Potsdam, 1927.

van Oordt: Phyſikaliſche Therapie der inneren Krankheiten, Bd. 1, Klimatotherapie 1920.

Pincussen: Die Bergkrankheit.

„ Lichtbehandlung und ihre Grundlagen. In Kraus und Brugſch, Spez. Therap. und Path.

Rubner: Klimatotherapie, i. Handb. d. Phyſik. Therap. 1902.

Storm van Leeuwen: Allergiſche Krankheiten, 1926.

H. Weber: Klimatotherapie in v. Ziemssens Handb. der allg. Therapie, 1880.

Zuntz, Loewy u. Gen.: Höhenklima und Bergwanderungen, 1906.

Lebenslauf.

Ich, Walter Knieriem, wurde am 31. Mai 1903 als Sohn des Lehrers Heinrich Knieriem zu Elberfeld geboren. Nach neunjährigem Beſuch des Gymnaſiums mit Realgymnaſium zu Elberfeld erlangte ich das Reifezeugnis dieſer Anſtalt im März 1922. Nach halbjähriger Tätigkeit als Maſchinenbauvolontär und einem zweiſemeſtrigen Studium des Maſchinenbaues auf der Techniſchen Hochſchule in Darmſtadt wandte ich mich im Winterſemeſter 1923 dem Studium der Medizin zu und beſtand nach einem neunſemeſtrigen Studium an den Univerſitäten München, Erlangen, Bonn und Würzburg am 9. Mai 1928 das ärztliche Staatsexamen. Am 1. Juni 1928 trat ich das praktiſche Jahr an, zunächſt in Würzburg am dortigen pathologiſchen Inſtitut der Univerſität und bin ſeit dem 15. Juli Medizinalpraktikant am allgemeinen ſtädtiſchen Krankenhaus Nürnberg.